

RHIC-PHENIX実験における π° 粒子のdouble spin asymmetry ALLと イベント構造の研究

2004年3月29日 物理学会
京都大学 原子核ハドロン研究室
深尾 祥紀 for the PHENIX collaboration

1. 導入 -- π° ALLとグルーオン偏極度--
2. セットアップ(RICH・PHENIX)
3. 粒子識別の最適化
4. π° ALLの測定結果
5. 結論

π° ALL測定の動機

$$\text{陽子スピン} = 1/2(\Delta u + \Delta d + \Delta s) + \Delta g + L \quad \Delta u = u^+ - u^-$$

フレーバーSU(3) \otimes スピンSU(2)
でバリオンの磁気能率を
よく理解することができる。

$$\rightarrow \Delta u + \Delta d \sim 1$$

ところが

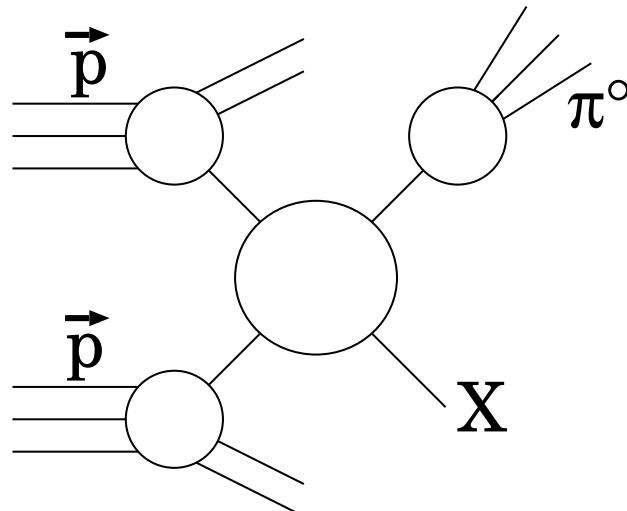
深非弾性散乱, β 崩壊により
実際に測定した結果

$$\rightarrow \Delta u + \Delta d + \Delta s = 0.1 \sim 0.3$$

スピン・クライシス

グルーオン偏極度 Δg ? 軌道角運動量 L ?
核子の構造は一体どうなっているのか?

進行方向に偏極した $\vec{p}\vec{p} \rightarrow \pi^\circ$ のinclusive測定



$$A_{\text{LL}} = \frac{\sigma_{++} - \sigma_{+-}}{\sigma_{++} + \sigma_{+-}}$$

$$\text{Diagram} = \text{Blue wavy line} + \text{Pink wavy line} + \text{Green wavy line}$$

$$\propto (\Delta g)^2 \quad \propto \Delta g \Delta q \quad \propto \Delta q \Delta q$$

Δg についての情報を得ることができる。

発表の概要

前学会からの改良点

- > 粒子識別: π° の純度アップ & BGダウン
- > PbG1を含め、検出器の全アクセプタンスを解析
--> π° ALLの最終値

ALL(π°)の求め方

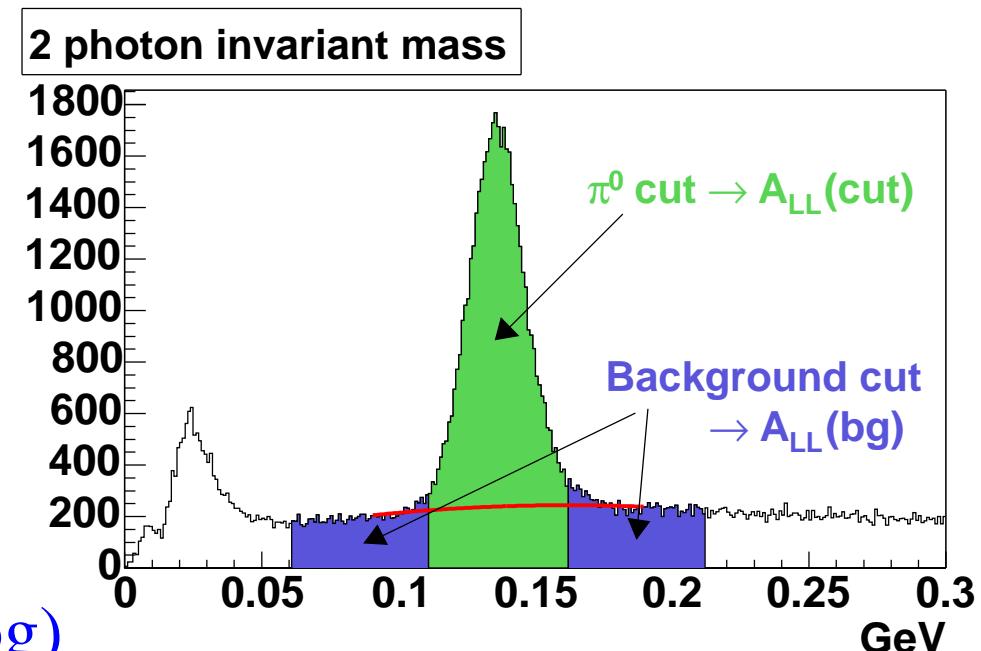
1. ALL(cut), ALL(bg)を計算する。

$$ALL = \frac{\sigma_{++} - \sigma_{+-}}{\sigma_{++} + \sigma_{+-}} = \frac{1}{Pb \cdot Py} \frac{N_{++} - RN_{+-}}{N_{++} + RN_{+-}}$$

2. Backgroundの割合(wbg)を求める。

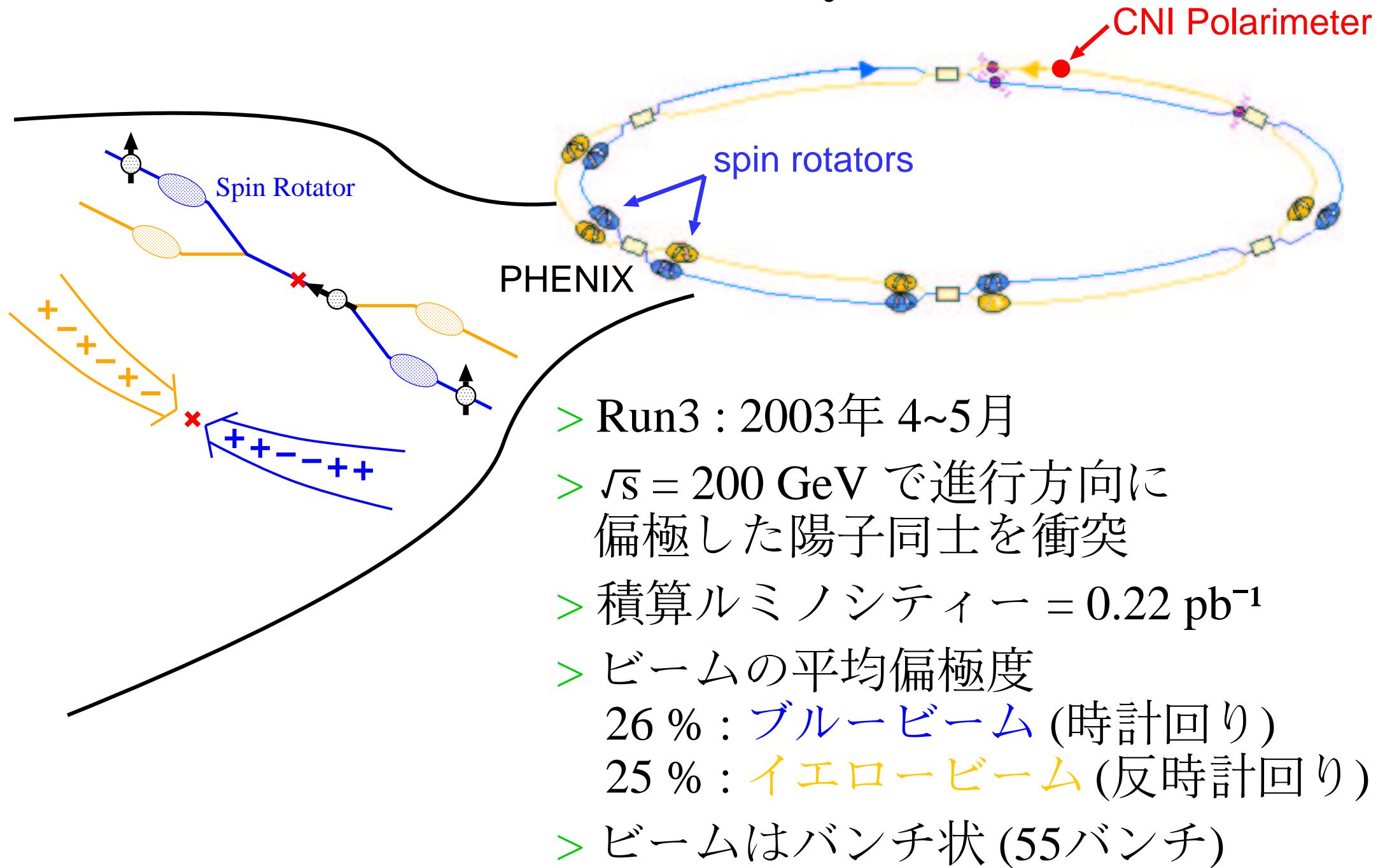
3. ALL(cut)から ALL(bg)を
差し引いて ALL(π°)を得る。

$$ALL(cut) = w\pi^{\circ} \cdot ALL(\pi^{\circ}) + wbg \cdot ALL(bg)$$

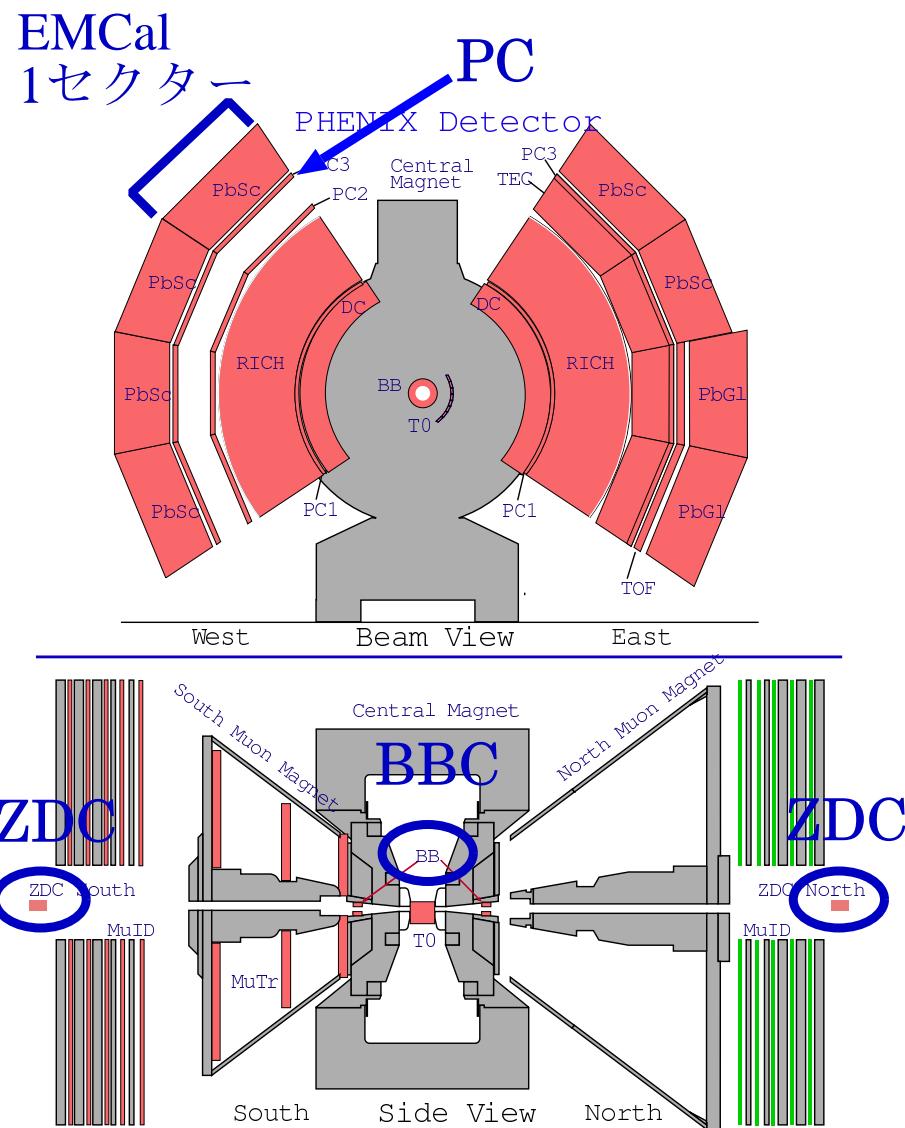


粒子識別により $\Delta ALL(\pi^{\circ})$ を小さくすることが可能。

RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider)



PHENIX検出器



電磁カロリメーター(EMCal)

- > 光子のエネルギー、位置を測定($\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$)
- > Acceptance
衝突点から5mの位置、 $|\eta| < 0.35$, $\phi : 90^\circ + 90^\circ$
- > PbSc(6セクター)とPbGl(2セクター)から成り、それぞれセグメント化している。 $(\Delta\eta \cong \Delta\phi \cong 0.01)$

エネルギー分解能

$$\text{PbSc} : 8.1\%/\sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 2.1\%$$

$$\text{PbGl} : 5.9\%/\sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 0.8\%$$

位置分解能

$$\text{PbSc} : 5.7\text{mm}/\sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 1.6\text{mm}$$

$$\text{PbGl} : 8.4\text{mm}/\sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 0.2\text{mm}$$

パッドチェンバー(PC)

- > 荷電粒子の軌跡を測定する検出器の一部
- > 位置分解能 $\sim 1\text{ cm}$

ビーム・ビーム・カウンター(BBC)

- > トリガー、ルミノシティ測定に使用
- > Acceptance : $3.0 < \eta < 3.9$

Zero Degree Calorimeter(ZDC)

- > ルミノシティ測定に使用
- > Acceptance : $\pm 2\text{ mrad}$

粒子識別の最適化法

ΔALL とカットによる π° のPurity、Efficiencyの関係

$$(\Delta A_{LL}^{\pi^0})^2 = \frac{1}{p^2} (\Delta A_{LL}^{\pi^0+BG})^2 + \frac{(1-p)^2}{p^2} (\Delta A_{LL}^{BG})^2$$

$$(\Delta A_{LL}^{\pi^0+BG})^2 = \frac{1}{N^{\pi^0+BG}} = \frac{p}{\epsilon} \frac{1}{N_{org}^{\pi^0}}$$

$$(\Delta A_{LL}^{BG})^2 = \frac{1}{\alpha N^{BG}} = \frac{p}{\alpha(1-p)\epsilon} \frac{1}{N_{org}^{\pi^0}}$$

$$\Delta A_{LL}^{\pi^0} = \sqrt{\frac{\alpha + 1 - p}{\alpha p \epsilon}} \frac{1}{\sqrt{N_{org}^{\pi^0}}}$$

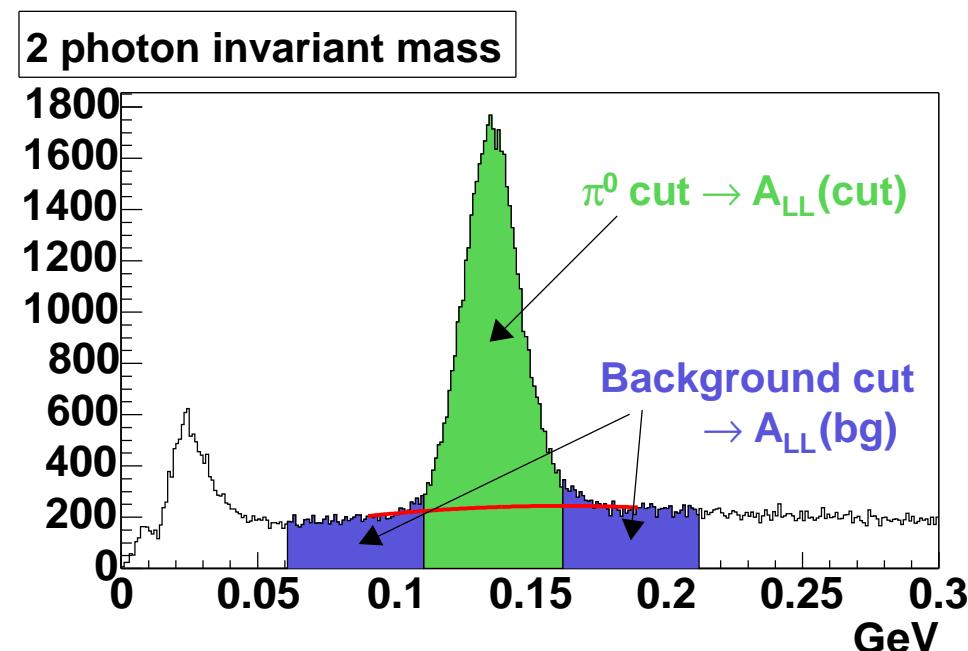
Cross Sectionの解析とは異なり
 ΔALL を最小にすることが目的

$p(\text{cut}, E_{\gamma})$:

Purity(Mass Window内
 の π° の割合)

$\epsilon(\text{cut}, E_{\gamma})$:

粒子識別のためのカット
 による π° のEfficiency



粒子識別の最適化法

ΔALL とカットによる π° のPurity、Efficiencyの関係

$$(\Delta A_{LL}^{\pi^0})^2 = \frac{1}{p^2} (\Delta A_{LL}^{\pi^0+BG})^2 + \frac{(1-p)^2}{p^2} (\Delta A_{LL}^{BG})^2$$

$$(\Delta A_{LL}^{\pi^0+BG})^2 = \frac{1}{N^{\pi^0+BG}} = \frac{p}{\epsilon} \frac{1}{N_{org}^{\pi^0}}$$

$$(\Delta A_{LL}^{BG})^2 = \frac{1}{\alpha N^{BG}} = \frac{p}{\alpha(1-p)\epsilon} \frac{1}{N_{org}^{\pi^0}}$$

$$\Delta A_{LL}^{\pi^0} = \sqrt{\frac{\alpha + 1 - p}{\alpha p \epsilon}} \frac{1}{\sqrt{N_{org}^{\pi^0}}}$$

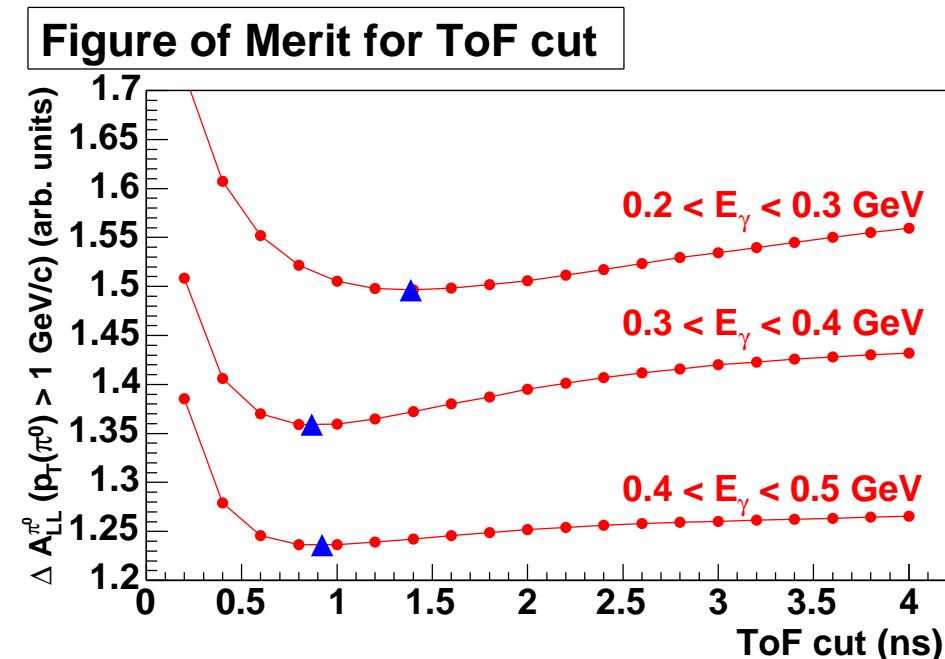
Cross Sectionの解析とは異なり
 ΔALL を最小にすることが目的

$p(\text{cut}, E_{\gamma})$:

Purity(Mass Window内
 の π° の割合)

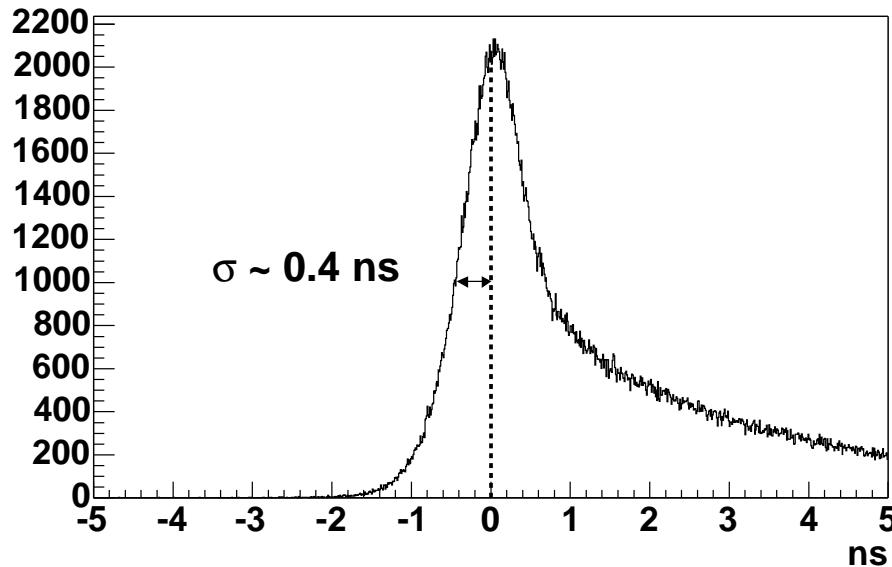
$\epsilon(\text{cut}, E_{\gamma})$:

粒子識別のためのカット
 による π° のEfficiency



ToFカットの最適化

ToF distribution (PbSc)



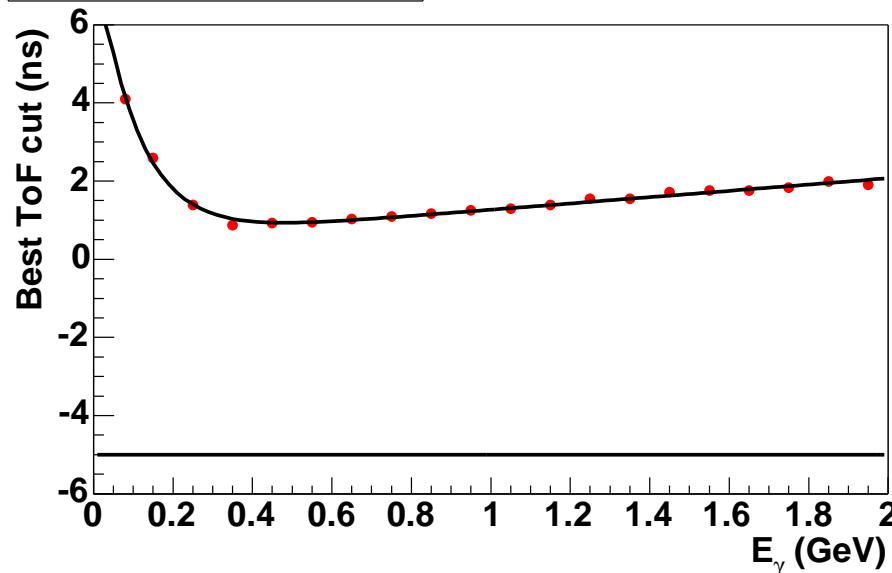
ビームの衝突点からEMCalまでの生成粒子の飛行時間を使って粒子識別をする。

EMCalの時間分解能は

PbSc : ~ 0.4 ns

PbGl : ~ 0.5 ns

Best ToF cut value

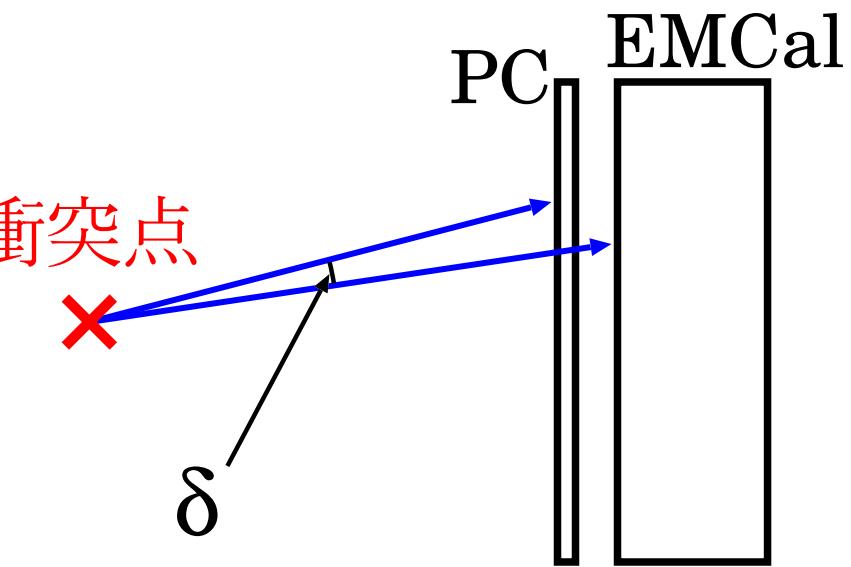
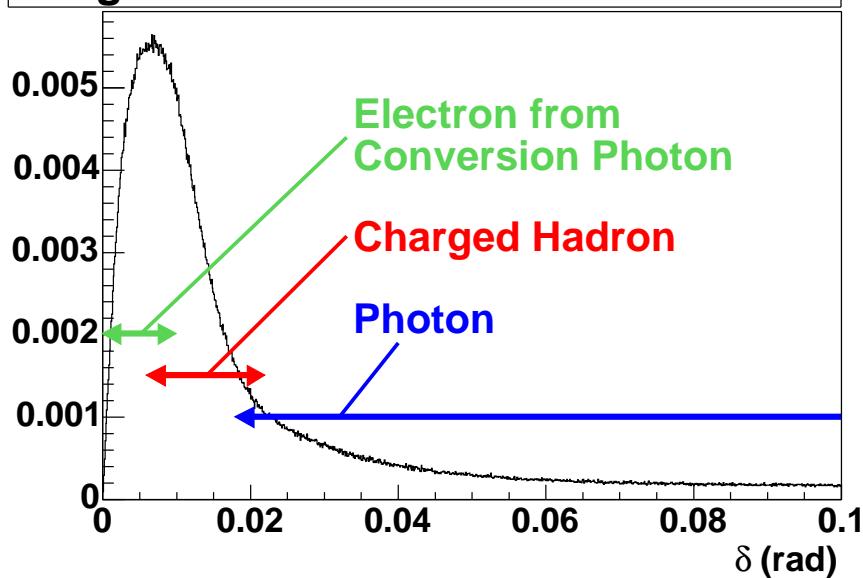


カット値は分解能、BGに依存する。
➢ 低エネルギーでは分解能が悪い
➢ 高エネルギーではBGが少ない

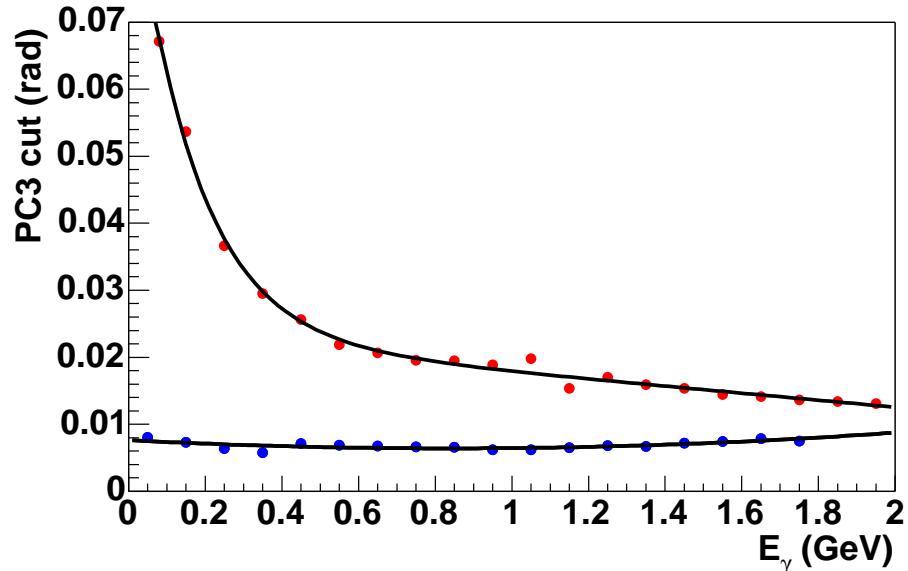
2本の線に囲まれた領域を光子とみなす。

パッドチャンバー(PC)を用いた荷電粒子除去

Angle between PC3 hit and EMCal hit



Best PC3 cut

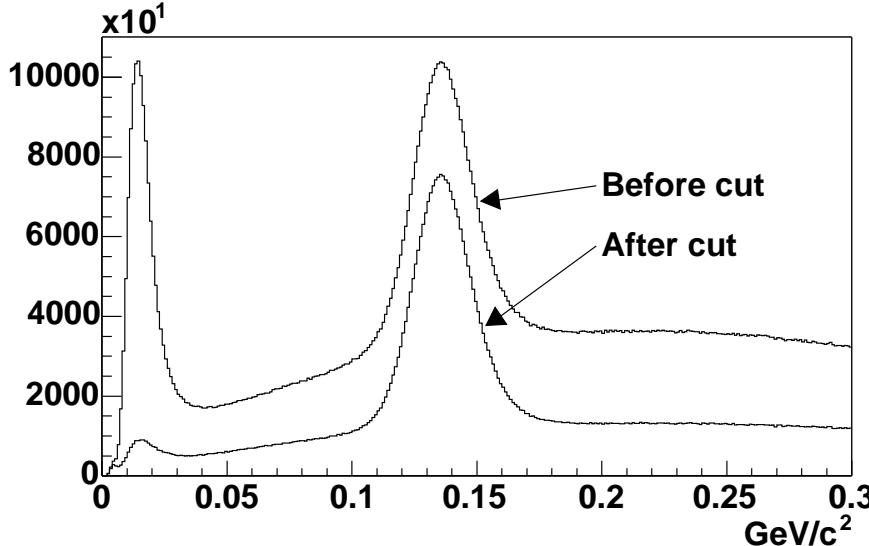


- 光子
- 光子がConversionした電子対を残し、
- その他の荷電粒子を除去することが目的

2本の線に囲まれた部分を除く

π° ALLの最終値

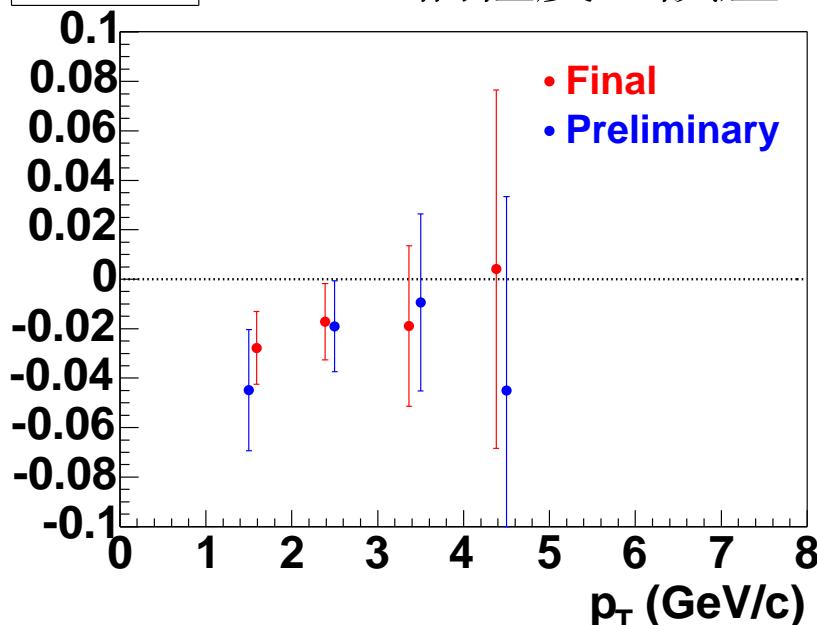
2 photon invariant mass ($1.0 < p_T < 2.0 \text{ GeV}/c$)



$p_T(\text{GeV}/c)$	Efficiency(%)	Purity(%)
$1 < p_T < 2$	$100 \rightarrow 88$	$54 \rightarrow 73$
$2 < p_T < 3$	$100 \rightarrow 93$	$75 \rightarrow 85$
$3 < p_T < 4$	$100 \rightarrow 96$	$86 \rightarrow 91$
$4 < p_T < 5$	$100 \rightarrow 97$	$88 \rightarrow 92$

A_{LL}

ビーム偏極度の誤差~30%

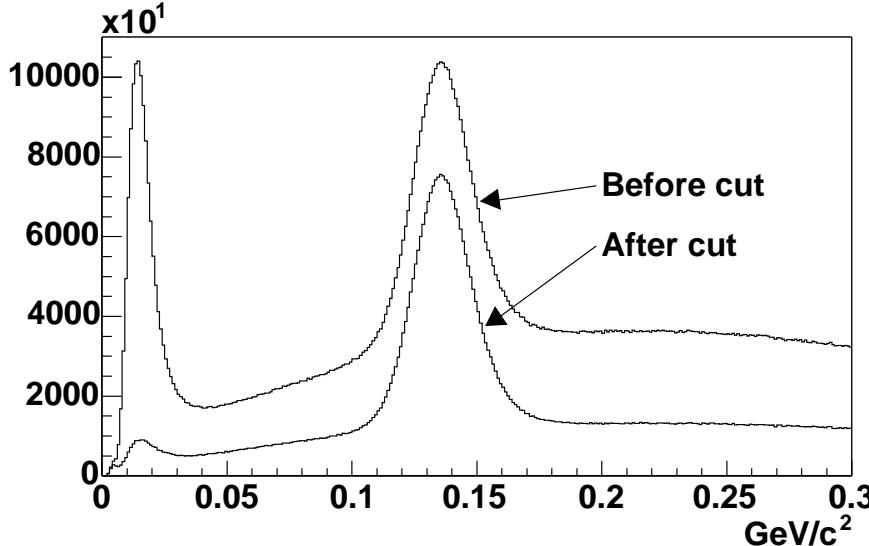


前回との違い
> PbGlを含めた。
> 粒子識別をした。

$p_T(\text{GeV}/c)$	$ALL(\text{prev})(\%)$	$ALL(\text{new})(\%)$
$1 < p_T < 2$	-4.6 ± 2.5	-2.8 ± 1.5
$2 < p_T < 3$	-1.9 ± 1.9	-1.7 ± 1.5
$3 < p_T < 4$	-0.9 ± 3.6	-1.9 ± 3.2
$4 < p_T < 5$	-4.5 ± 7.9	0.4 ± 7.2

π° ALLの最終値

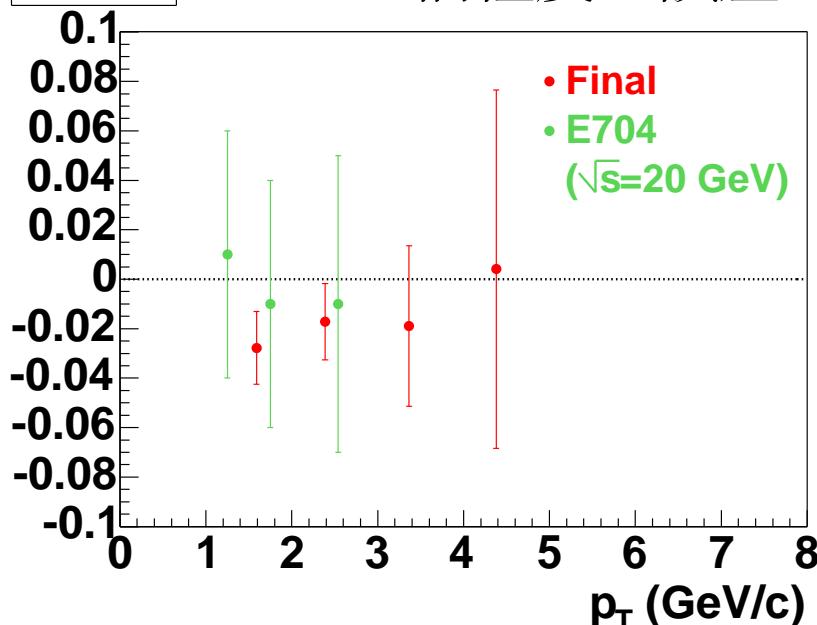
2 photon invariant mass ($1.0 < p_T < 2.0 \text{ GeV}/c$)



$p_T(\text{GeV}/c)$	Efficiency(%)	Purity(%)
$1 < p_T < 2$	$100 \rightarrow 88$	$54 \rightarrow 73$
$2 < p_T < 3$	$100 \rightarrow 93$	$75 \rightarrow 85$
$3 < p_T < 4$	$100 \rightarrow 96$	$86 \rightarrow 91$
$4 < p_T < 5$	$100 \rightarrow 97$	$88 \rightarrow 92$

A_{LL}

ビーム偏極度の誤差~30%



前回との違い

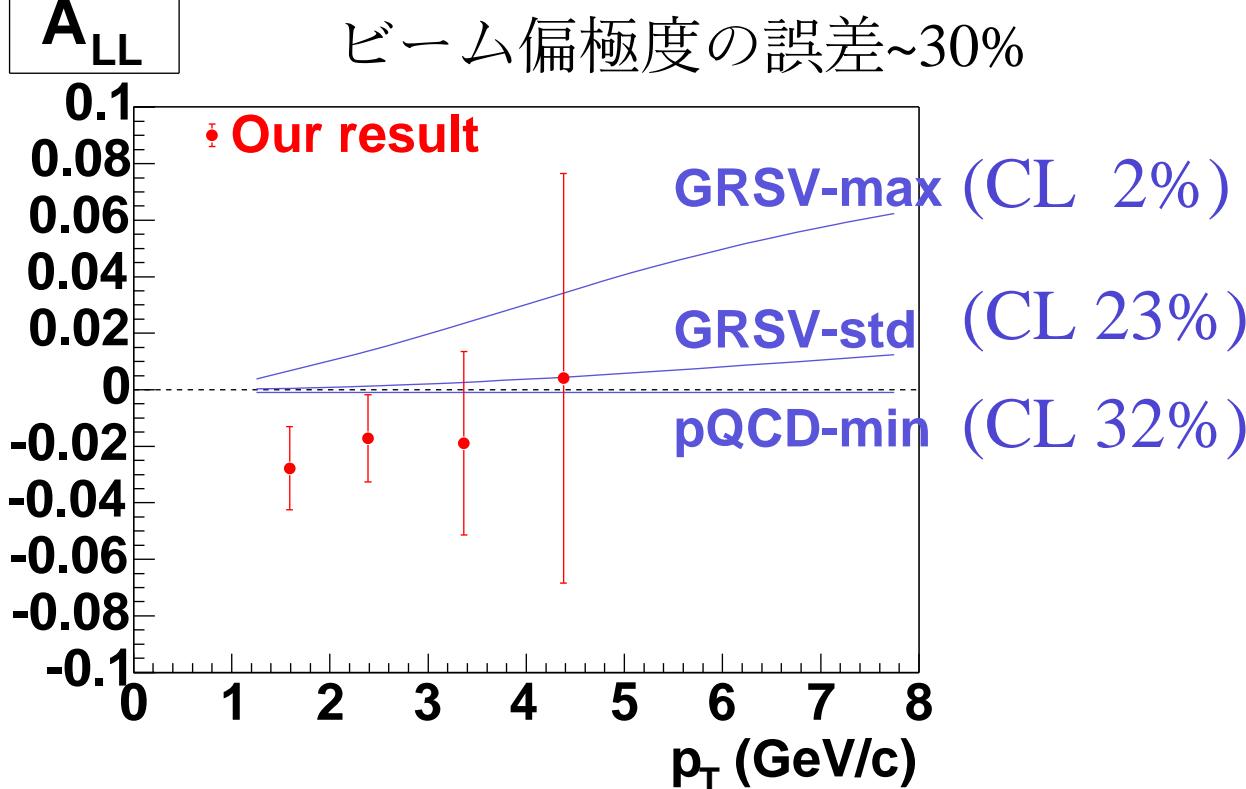
> PbGlを含めた。

> 粒子識別をした。

$p_T(\text{GeV}/c)$	ALL(prev)(%)	ALL(new)(%)
$1 < p_T < 2$	-4.6 ± 2.5	-2.8 ± 1.5
$2 < p_T < 3$	-1.9 ± 1.9	-1.7 ± 1.5
$3 < p_T < 4$	-0.9 ± 3.6	-1.9 ± 3.2
$4 < p_T < 5$	-4.5 ± 7.9	0.4 ± 7.2

π° ALLとグルーオン偏極度

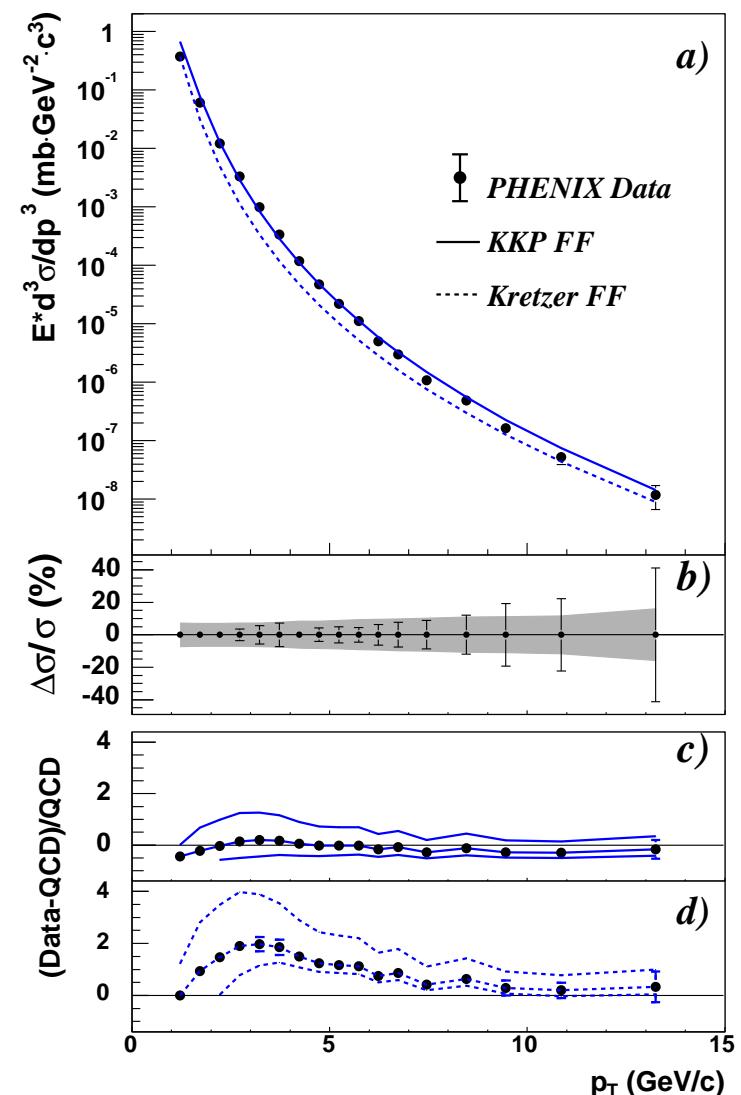
A_{LL}



データはGRSV-standardを支持する。

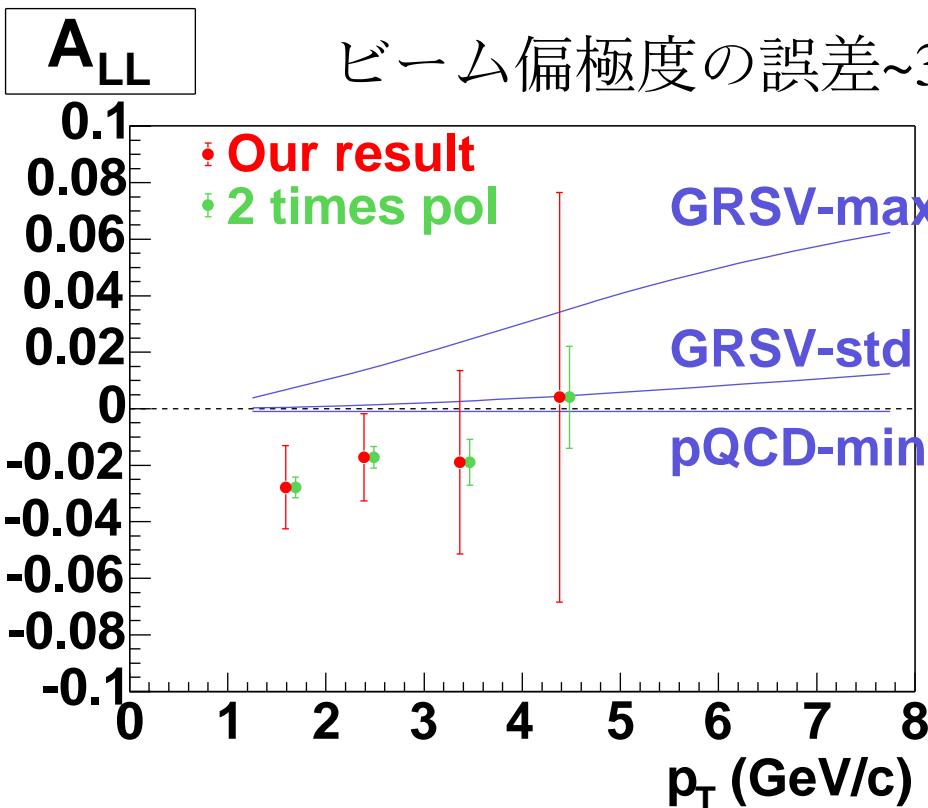
pQCDの枠組では、この p_T 領域で大きな負の π° ALLを得ることは難しい。

run5で統計精度をあげ、高い p_T でのALLを求めることが必要。



S.S.Adler et al.,
Phys. Rev. Lett. 91, 241803 (2003).

π° ALLとグルーオン偏極度

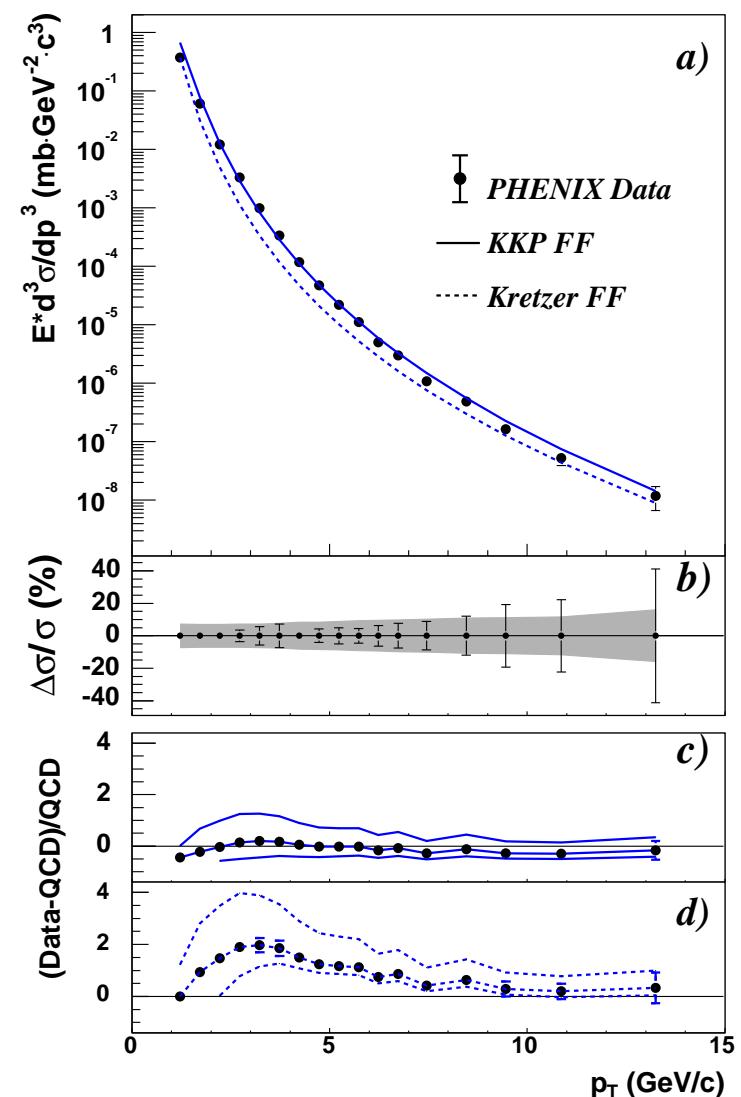


GRSV-max (CL 2%)
 GRSV-std (CL 23%)
 pQCD-min (CL 32%)

データはGRSV-standardを支持する。

pQCDの枠組では、このp_T領域で大きな負の π° ALLを得ることは難しい。

run5で統計精度をあげ、高いp_TでのALLを求めることが必要。



S.S.Adler et al.,
 Phys. Rev. Lett. 91, 241803 (2003).

結論

RHIC-PHENIX実験において $\sqrt{s}=200\text{ GeV}$ で
 $\pi^\circ\text{ ALL}$ を $1 < p_T < 5\text{ GeV}/c$, $|\eta| < 0.35$ の領域で測定した。

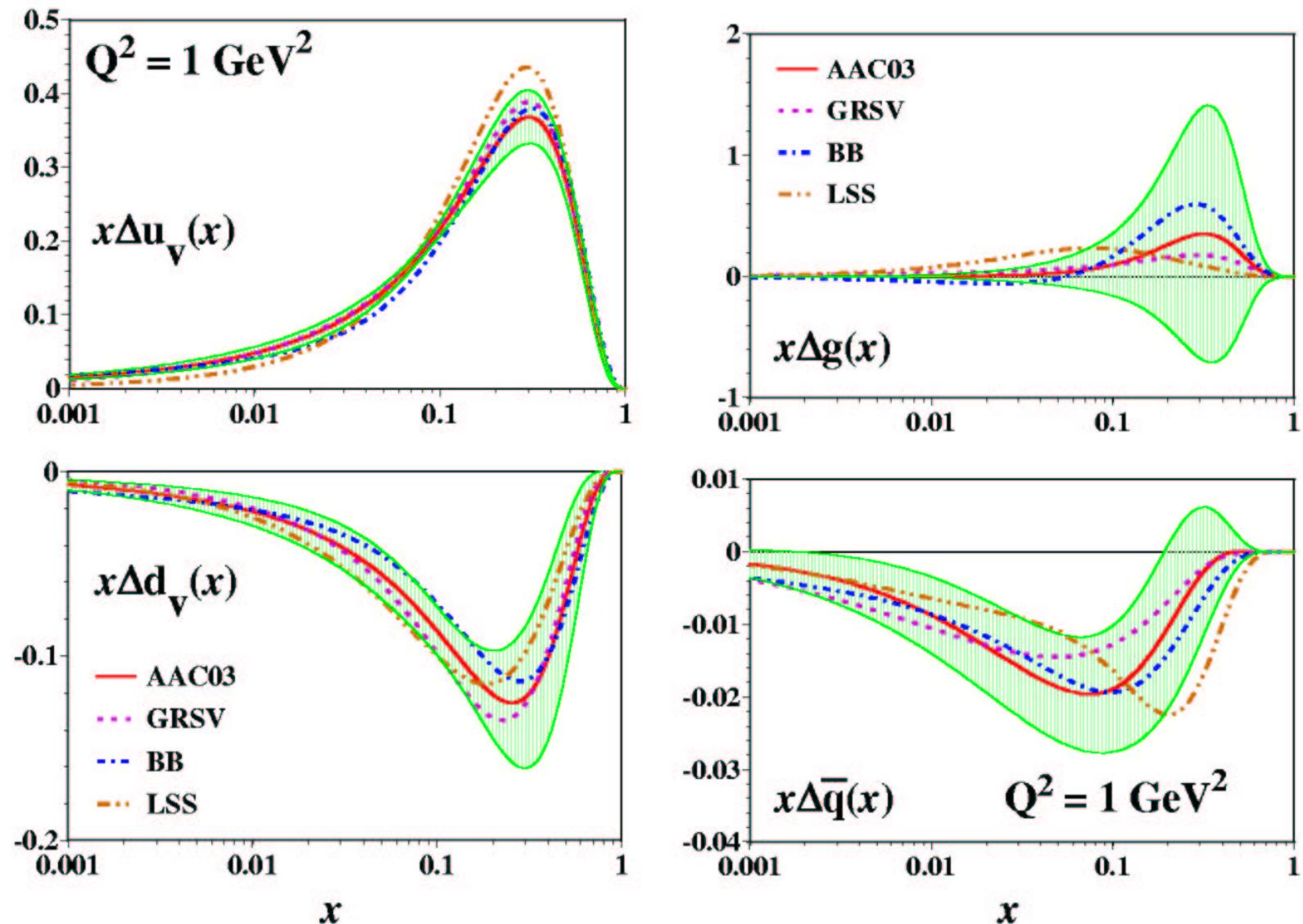
$\pi^\circ\text{ ALL}$ はわずかに負の値をもっており、
GRSV-standardモデルを支持している。

この p_T 領域において負の値を持つ $\pi^\circ\text{ ALL}$ を
説明することはpQCDの枠組では難しい。

Run5で統計精度をあげ、より高い p_T での
情報を得ることが必要である。

Back up slides

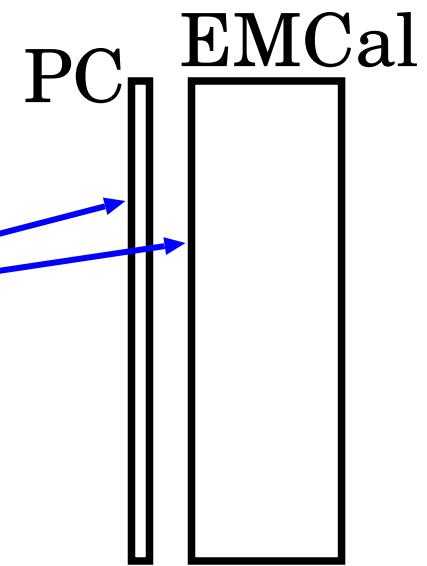
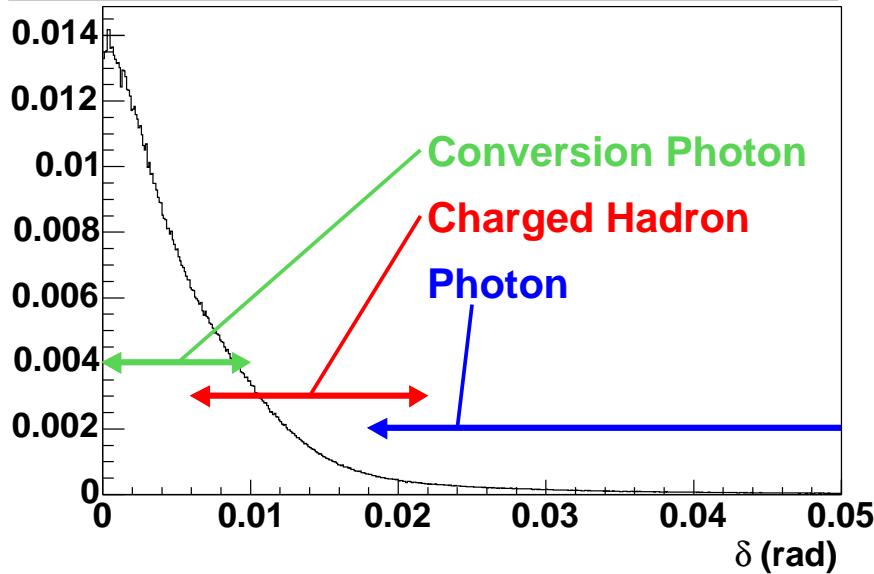
偏極パートン分布関数



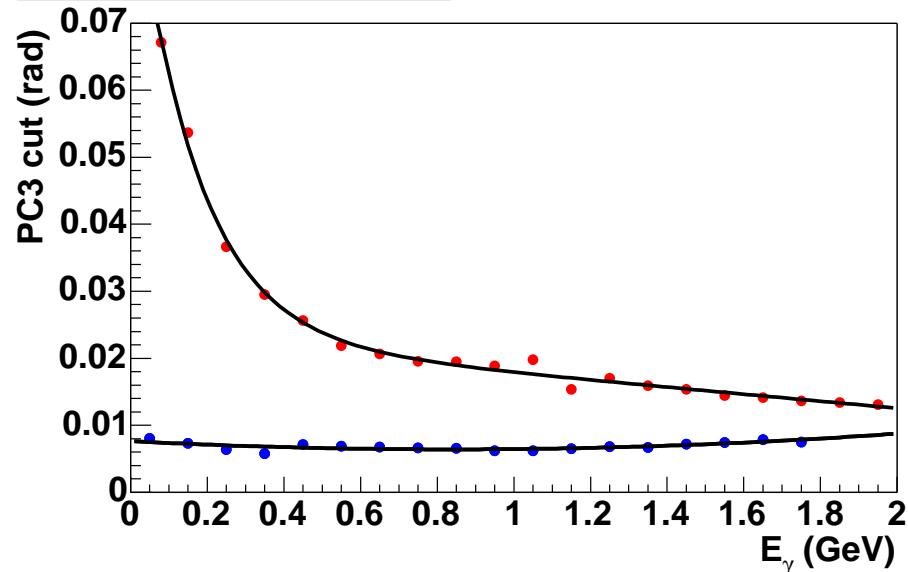
M. Hirai et al, hep-ph/0312112 (2003)

パッドチャンバー(PC)を用いた荷電粒子除去

Angle between PC3 hit and EMCal hit



Best PC3 cut



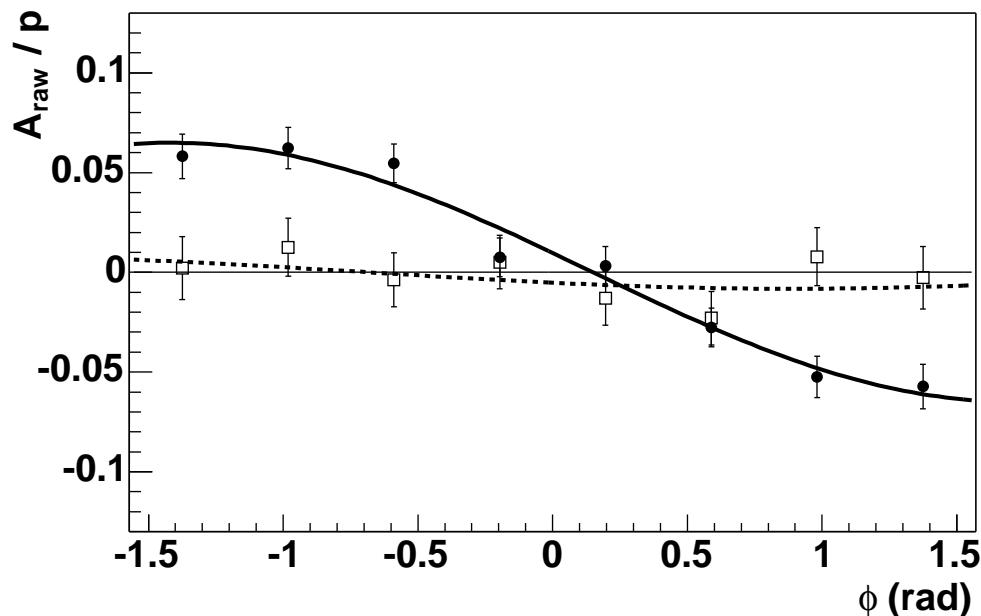
- 光子
- 光子がConversionした電子対を残し、
- その他の荷電粒子を除去することが目的

2本の線に囲まれた部分を除く

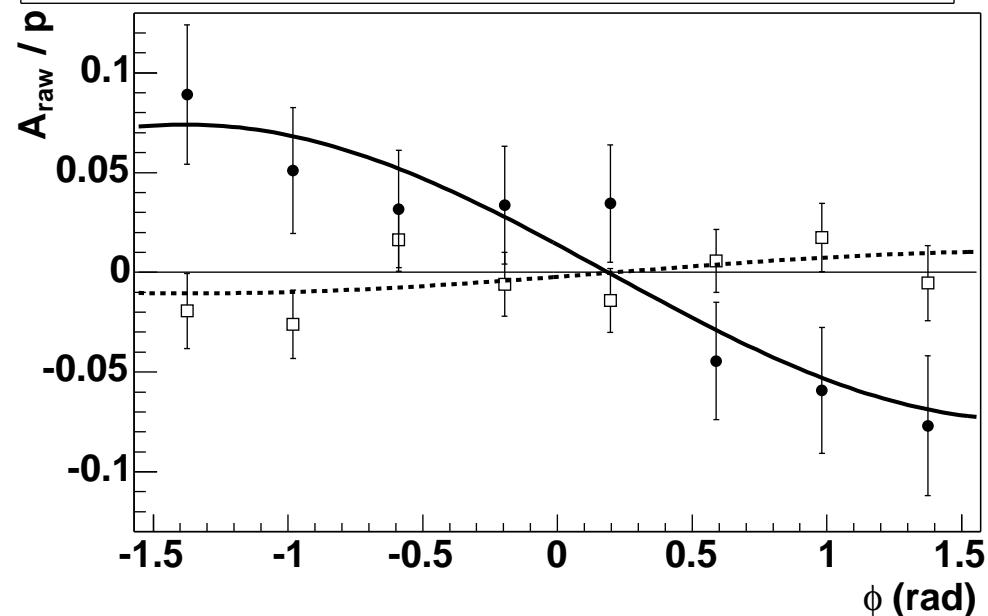
Spin Rotator Commissioning

pp \rightarrow nX反応での中性子が持つ
Single Transverse Spin Asymmetry (AN)を測定し、
ビーム偏極度のTransverse成分を調べる。

Asymmetry from Local Polarimeter (Blue Beam)



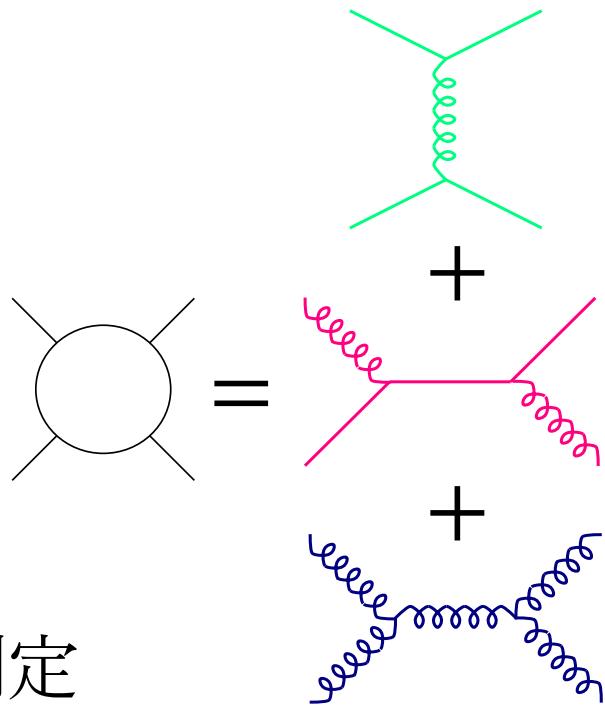
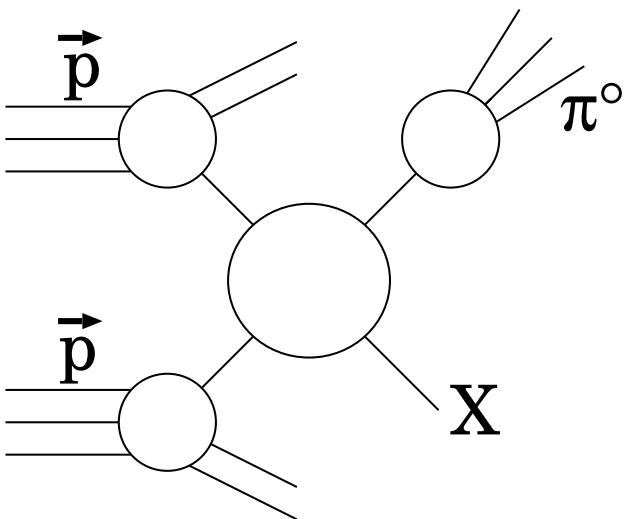
Asymmetry from Local Polarimeter (Yellow Beam)



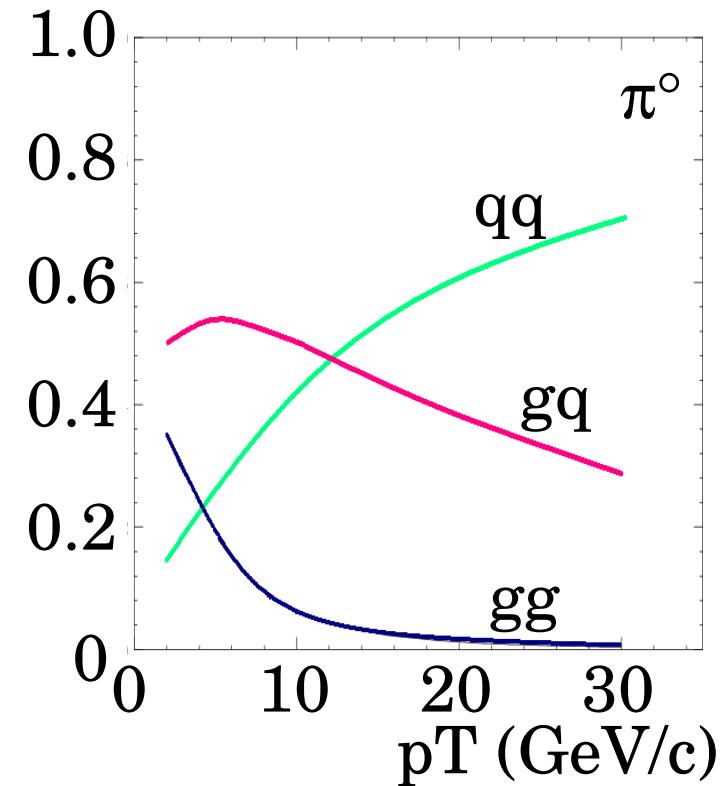
実線：Rotator Off
破線：Rotator On

\rightarrow Rotatorは正しく動いている。

π^0 のALLとグルーオン偏極分布関数



進行方向に偏極した
 $\vec{p}\vec{p} \rightarrow \pi^0$ のinclusive測定



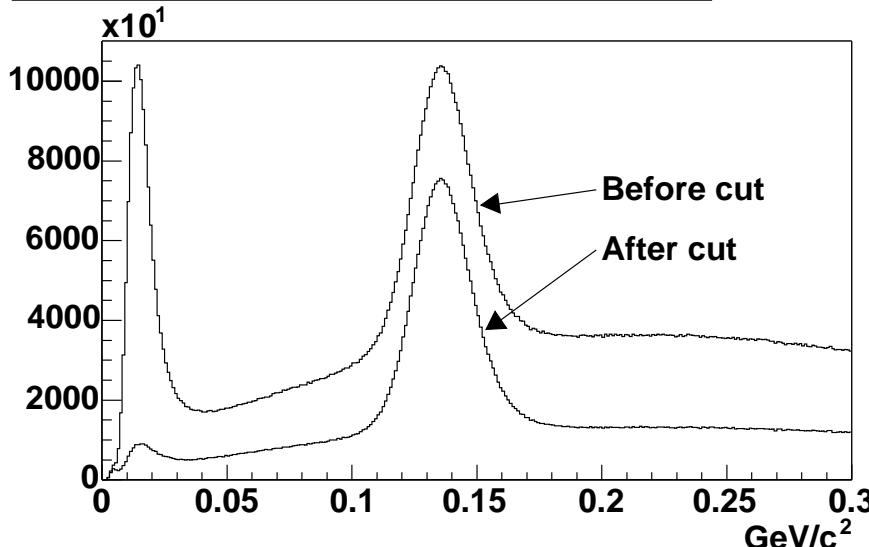
$$A_{LL}^{pp \rightarrow \pi^0 X} = \frac{\Delta\sigma^{pp \rightarrow \pi^0 X}}{\sigma^{pp \rightarrow \pi^0 X}} = \frac{\sigma_{++} - \sigma_{+-} - \sigma_{-+} + \sigma_{--}}{\sigma_{++} + \sigma_{+-} + \sigma_{-+} + \sigma_{--}}$$

$$\simeq \boxed{\omega_{qq} \frac{\Delta q}{q} \otimes \frac{\Delta q}{q}} + \boxed{\omega_{gq} \frac{\Delta g}{g} \otimes \frac{\Delta q}{q}} + \boxed{\omega_{gg} \frac{\Delta g}{g} \otimes \frac{\Delta g}{g}}$$

$$\Delta f = f_+^+ - f_+^- : \text{偏極分布関数}$$

粒子識別の結果

2 photon invariant mass ($1.0 < p_T < 2.0 \text{ GeV}/c$)



$p_T(\text{GeV}/c)$	Efficiency(%)	Purity(%)
$1 < p_T < 2$	88	$54 \rightarrow 73$
$2 < p_T < 3$	93	$75 \rightarrow 85$
$3 < p_T < 4$	96	$86 \rightarrow 91$
$4 < p_T < 5$	97	$88 \rightarrow 92$

$p_T(\text{GeV}/c)$	ALL(prev)(%)	ALL(new)(%)
$1 < p_T < 2$	-4.6 ± 2.5	$??? \pm 1.5$
$2 < p_T < 3$	-1.9 ± 1.9	$??? \pm 1.5$
$3 < p_T < 4$	-0.9 ± 3.6	$??? \pm 3.2$
$4 < p_T < 5$	-4.5 ± 7.9	$??? \pm 7.2$

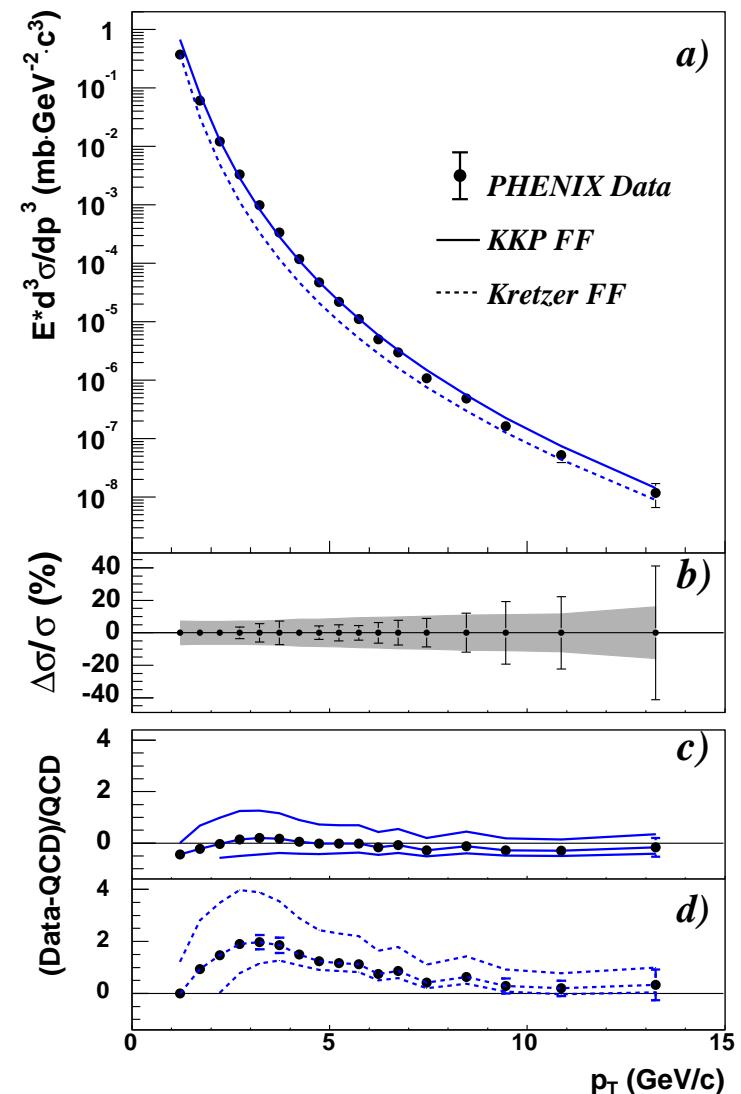
π° ALLとグルーオン偏極度

ビーム偏極度の誤差~30%

データはGRSV-standardを支持する。

pQCDの枠組では、この p_T 領域で大きな負の π° ALLを得ることは難しい。

run5で統計精度をあげ、高い p_T でのALLを求めることが必要。



S.S.Adler et al.,
Phys. Rev. Lett. 91, 241803 (2003).

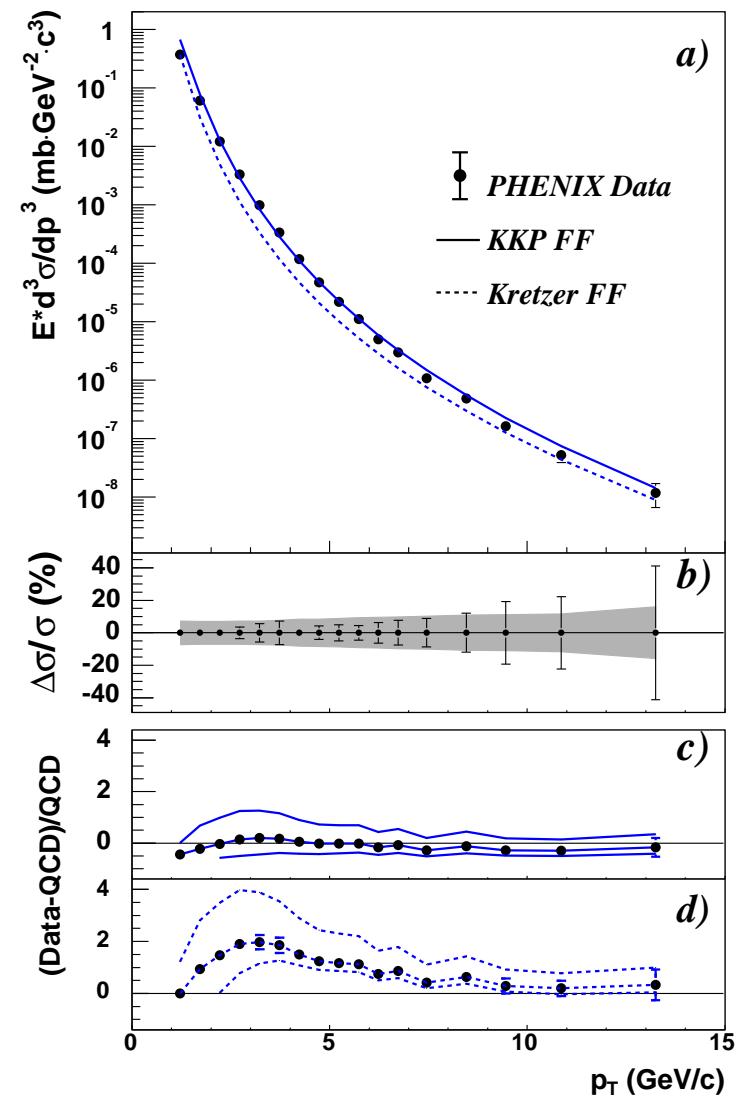
π° ALLとグルーオン偏極度

ビーム偏極度の誤差~30%

データはGRSV-standardを支持する。

pQCDの枠組では、この p_T 領域で大きな負の π° ALLを得ることは難しい。

run5で統計精度をあげ、高い p_T でのALLを求めることが必要。



S.S.Adler et al.,
Phys. Rev. Lett. 91, 241803 (2003).